

**PROPOSTA DE REABILITAÇÃO FISIOTERAPÊUTICA EM PACIENTES COM
DIFICULTADES EM EXECUTAR MOVIMENTOS EM MEMBROS
SUPERIORES OU INFERIORES UTILIZANDO-SE SINAIS MIOELÉTRICOS NOS
JOGOS VIRTUAIS COM APLICAÇÃO EM PRÓTESE INTELIGENTE PARA
MEMBRO SUPERIOR**

Autores: PEDRO HENRIQUE CANTUÁRIA LÔBO e LUCIANO HENRIQUE DUQUE

Instituição: CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA

Resumo.

Este trabalho apresenta um sistema de condicionamento para a coleta e análise de sinais eletromiográficos (EMG), através de medições dos sinais nervosos, que surgem com a produção de esforços musculares e que são quantizados através de games em fases, conforme o exercício recomendado pelo fisioterapeuta. A gamificação dos sinais mioelétricos visa melhorar o desempenho na reabilitação de membros superiores ou inferiores, oferecendo um feedback motivacional ao paciente, através de desafios moldados em etapas. O conceito de gamificação consiste em usar estrutura e dinâmica encontrada em jogos para motivar e aprimorar os pacientes em reabilitação fisioterapêutica em membros superiores ou inferiores. O sistema proposto é composto por um hardware, o amplificador de eletromiografia, um software analisador de sinais e o desenvolvimento de vários games conforme as necessidades do paciente. As medições dos sinais mioelétricos e sua tratativa são executadas pelo software analisador, peça fundamental para o funcionamento adequado dos games conforme os exercícios atribuídos pelo profissional de fisioterapia. Os jogos virtuais desenvolvidos são elaborados para exercícios de reabilitação que envolve força e controle dos membros superiores ou inferiores. Através desse sistema é possível obter maior objetividade e exatidão no diagnóstico e auxílio na recuperação de pacientes que apresentem lesões nestes membros. Com essa tratativa objetiva-se fomentar e auxiliar a reabilitação dos pacientes. O fisioterapeuta pode com o auxílio do protótipo, estudar e analisar o comportamento de uma musculatura qualquer em pacientes em reabilitação ou

não. Por outro lado, o paciente obtém um feedback de sua recuperação através do game motivando sua reabilitação.

1. Introdução

Eletromiografia é uma técnica que se propõe a estudar os fenômenos bioelétricos que ocorrem no corpo humano dentro das membranas celulares na musculatura humana e em todo o sistema nervoso. O espectro de frequências dos sinais mioelétricos estendem-se de 10Hz a 500Hz para a maioria dos eletrodos de superfície, para fins cinesiológicos que é o alvo desse trabalho. No cérebro humano, há uma grande quantidade de atividade neural que nos define como somos e o que fazemos. O amplificador de eletromiografia é utilizado mediante o uso de instrumentos eletrônicos que disponibilizam informações relacionadas à resposta captada por um determinado esforço muscular [1].

Nesse contexto, torna-se importante obter o sinal elétrico produzido pelo esforço muscular, utilizando um amplificador de eletromiografia, que amplifica o sinal captado e um software processa os sinais e apresenta em tela sua amplitude e sons gerados pela atividade muscular. Após o sinal captado, amplificado e analisado, um software com o sinal captado e o paciente efetua os exercícios necessários a sua reabilitação, recebendo um feedback através do game conforme a recomendação do terapeuta, que acompanha e avalia o sinal captado. O EMG é a base para captar os sinais, sendo bastante útil em procedimentos de fisioterapia e outros campos de pesquisa, e consegue obter informações sobre a atividade elétrica do músculo que é induzido, assim podemos efetuar o processamento e a gamificação dos sinais [2].

Antes do surgimento do amplificador de EMG, clínicos confiavam apenas em seu “tato” ou na inspeção visual para diagnosticar os músculos que estavam sendo analisados durante a excitação. Com o amplificador de Eletromiografia, software de processamento e o game, teremos mais objetividade e exatidão no diagnóstico e auxílio na recuperação de pacientes que apresentem lesões em membros superiores ou inferiores. Nesse cenário, torna-se mais fácil os clínicos e terapeutas obterem um resultado melhor da situação do músculo analisado, e assim auxiliar o paciente em sua recuperação [3].

O eletromiógrafo proposto (hardware) para captura dos sinais será desenvolvido com amplificador operacional diferencial e filtros baseado na família TLC274CN e os softwares para processamento de sinais e gamificação são desenvolvidos em linguagem de programação Java. Os games desenvolvidos são elaborados para exercícios de reabilitação que envolve força e controle dos membros superiores ou inferiores. Vamos aplicar nesse

trabalho o conceito de gamificação, que consiste em usar estrutura e dinâmica encontrada em jogos para motivar e aprimorar os pacientes em reabilitação fisioterapêutica em membros superiores ou inferiores [4].

2. Objetivos

O objetivo geral proposto nesse trabalho é desenvolver um protótipo de um sistema capaz de extrair os sinais elétricos do músculo, analisá-los, e através de um processo de gamificação motivar e auxiliar a reabilitação de pacientes com problemas em membros superiores ou inferiores, com auxílio de profissional de fisioterapia.

Os objetivos específicos para desenvolver o sistema de coleta, análise e gamificação dos sinais mioelétricos são:

- Projetar filtros para eliminar ruídos indesejáveis, permitindo captar apenas o ruído muscular na faixa 10Hz a 500Hz;
- Elaborar circuito amplificador diferencial com o foco na amplificação dos sinais elétricos (10Hz a 500Hz) gerados pelo músculo, utilizando amplificadores operacionais de alta sensibilidade;
- Desenvolver utilizando a linguagem java um software capaz de analisar processar o sinais;
- Desenvolver games adequados para cada tipo exercício necessários na reabilitação do paciente.
- Aplicar os dados coletados para desenvolvimento de prótese inteligente de membro superior.
- Realizar teste para a melhor compreensão dos sinais.
- Usar técnicas adequadas para devolver sensibilidade térmica e toque ao paciente.

3. Metodologia

Coletar, analisar e processar os sinais mioelétricos é de suma importância para o desenvolvimento do trabalho proposto, pois após as tratativas de sinais, o conceito da gamificação é aplicado, permitindo ao paciente em recuperação fisioterapêutica efetuar exercícios com auxílio de games que estimulem sua recuperação. Nesse cenário, como metodologia para desenvolvimento do trabalho proposto, o sistema é dividido nas seguintes etapas:

- A primeira etapa é formada pelo estudo e captação dos sinais mioelétricos do músculo analisado, com utilização de eletrodos de superfície. Os eletrodos são dispositivos de entrada e saída de corrente em um sistema elétrico.
- A segunda etapa é embasada no desenvolvimento de um circuito condicionador, que é constituído por filtros e amplificadores operacionais diferenciais responsáveis pela filtragem e amplificação do sinal de atividade muscular. Nessa fase, os sinais coletados do músculo em análise serão filtrados na faixa de 10Hz a 500Hz e após esse processo serão amplificados como base em amplificadores operacionais de alta sensibilidade, especificamente o operacional da família TLC274CN;
- A terceira etapa consiste no desenvolvimento de um software baseado em linguagem Java, capaz de receber os sinais coletados pelo EMG, processar matematicamente, apresentar sua forma de onda na tela do computador e apresentar de forma audível o ruído gerado pelo músculo em análise. O software prevê também mecanismos que permite mensurar a intensidade da força exercida pelo músculo e possibilidade de eliminar ruído fora da faixa de 10Hz a 500Hz do sinal EMG;
- Na quarta etapa o conceito da gamificação é aplicado para o desenvolvimento de jogos (games) que vão interagir com os sinais coletados pelo EMG e processados pelo software analisador de sinais. Por enquanto, estamos usando o Unity, que permite o desenvolvimento dos scripts dos jogos em linguagem C, Javascript, e para o protótipo inicial apresentamos dois jogos que são referentes a exercícios de força recomendados por fisioterapeuta;
- A quinta etapa consiste em realizar testes no hardware do EMG e testes de interação dos games com o EMG e validação dos testes. Complementando a metodologia utilizamos o simulador de circuitos Proteus [5], multímetro digital, Eletrodos de superfície e computador para auxiliar os testes.
- Após todo o processo de gamificação dos sinais mioelétricos, serão aplicados os estudos na prótese inteligente. Tal dispositivo contará com um DSP (Processador digital de sinal), o qual aplicará a FFT (Transformada rápida de Fourier) com finalidade de permitir melhor filtragem do sinal, coletando apenas os sinais dos músculos em estudo.
- A prótese tem por finalidade devolver a maior parte do movimento que o paciente perdeu, criando assim uma mão artificial. O dispositivo contará com sensores de temperatura e toque, devolvendo, também, parte da sensibilidade perdida.

4. Desenvolvimento

Para desenvolver o sistema proposto é necessário analisar como os sinais eletromiográficos no corpo são transmitidos e a partir desse conhecimento desenvolver o protótipo para captação e amplificação das atividades musculares. Após o hardware EMG desenvolvido é possível projetar os softwares para análise e geração de games de interação com o paciente. Os formatos de onda EMG são processados por um amplificador diferencial com base no amplificador operacional TLC274CN de alta sensibilidade, impedância e ganho.

1. Sinais Eletromiográficos

São sinais mioelétricos gerados pelas contrações de nervos e músculos. Esses sinais apresentam tensões em níveis muito baixos, tipicamente variando entre $100\mu\text{V}$ a 2mV , com alta impedância e propensos a altos níveis de interferência de sinal e ruído [6]. O sinal EMG (eletromiográfico) pode ser definido pela equação 1:

$$EMG(t) = \sum_{j=1}^{Nm} SPAUM(t) + n(t) \quad (1)$$

Onde: SPAUM – série de potenciais de ação da unidade motora de 10Hz a 500Hz; $n(t)$ – Ruído, t - é o tempo de amostra.

O software que é desenvolvido para processar o sinal EMG da equação 1 realiza uma operação matemática com o sinal, que é a transformada de Wavelet. A transformada de Wavelet decompõe uma função definida no domínio do tempo em outra função, definida no domínio do tempo e no domínio da frequência. Ela é indicada para processamento de sinais mioelétricos e que não entraremos em detalhes nesse trabalho e apresentaremos o software com essa funcionalidade embutida.

2. Desenvolvimento do circuito condicionar de sinais mioelétricos

Os sinais Eletromiográficos são captados através dos eletrodos de superfície, que são dispositivos transdutores de sinais. Os sinais captados pelos eletrodos de superfície precisam ser amplificados devido a sua amplitude ser muito baixa. Os ruídos provenientes dos batimentos cardíacos, aparelhos eletrônicos podem provocar interferências no circuito condicionador.

Nesse cenário, é necessário desenvolver filtros de sinais na faixa de 10Hz e 500 Hz em conjunto com amplificadores diferenciais e amplificadores de áudio, esse nos permite ouvir a atividade muscular. A figura 1 abaixo apresenta o diagrama em blocos do circuito condicionador com amplificador de áudio e filtros.

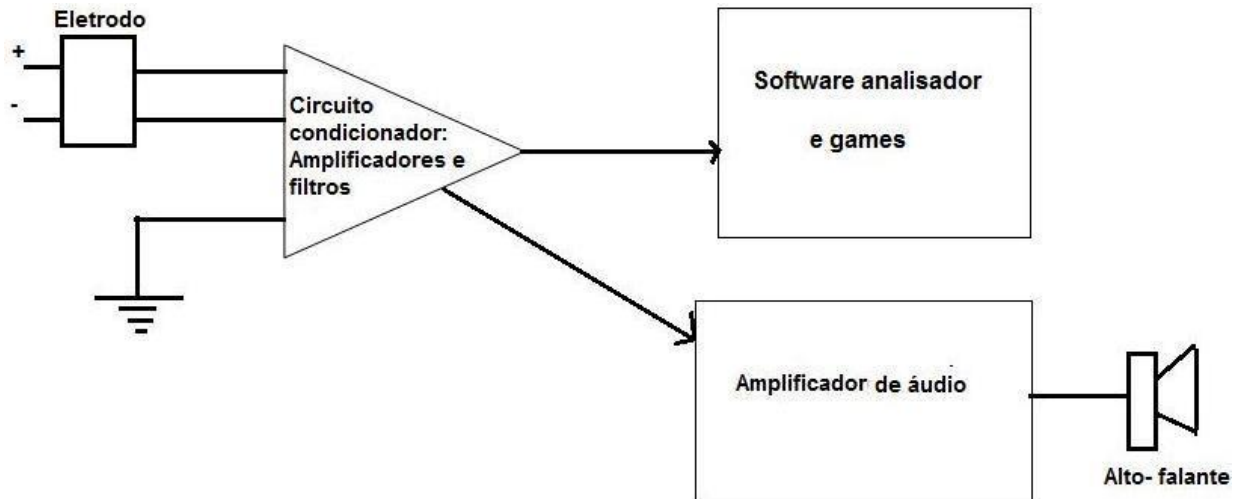


Fig. 1. Diagrama em blocos do sistema proposto

O sinal captado pelo eletrodo é aplicado em um circuito amplificador diferencial com filtros na faixa de 10Hz a 500Hz, faixa dos sinais EMG [7]. Depois de amplificados, são enviados para o software analisador e amplificador de áudio. O software analisador é responsável por exibir na tela do computador a forma de onda do sinal EMG capturado no músculo em estudo e também apresenta funções de filtragem, mediações de intensidade força e tela personalizada que possibilita ao profissional de fisioterapia fazer diagnósticos em membros superiores ou inferiores. A tela do software para geração do game é apresentado apenas para o paciente em outro computador, no entanto, quem seleciona o game é o terapeuta e sua escolha é função do exercício. O circuito condicionador é projetado baseado no amplificador operacional TLC274CN, que possui alta impedância e ganho. A filtragem do sinal ocorre na faixa de 10Hz a 500Hz. O amplificador diferencial com os filtros RC na entrada que tem a função de eliminar os ruídos de atividades providas dos outros músculos, os sinais cardíacos e outros tipos de interferências eletromagnéticas deixando passar apenas os sinais de EMG do músculo analisado (figura 2). O filtro de RC pode ser obtido através da equação 2.

$$f = \frac{1}{2\pi * R * C} \quad (2)$$

Onde: f - é a frequência de corte, R - Resistência em ohms (Ω), Capacitância em Faraday.

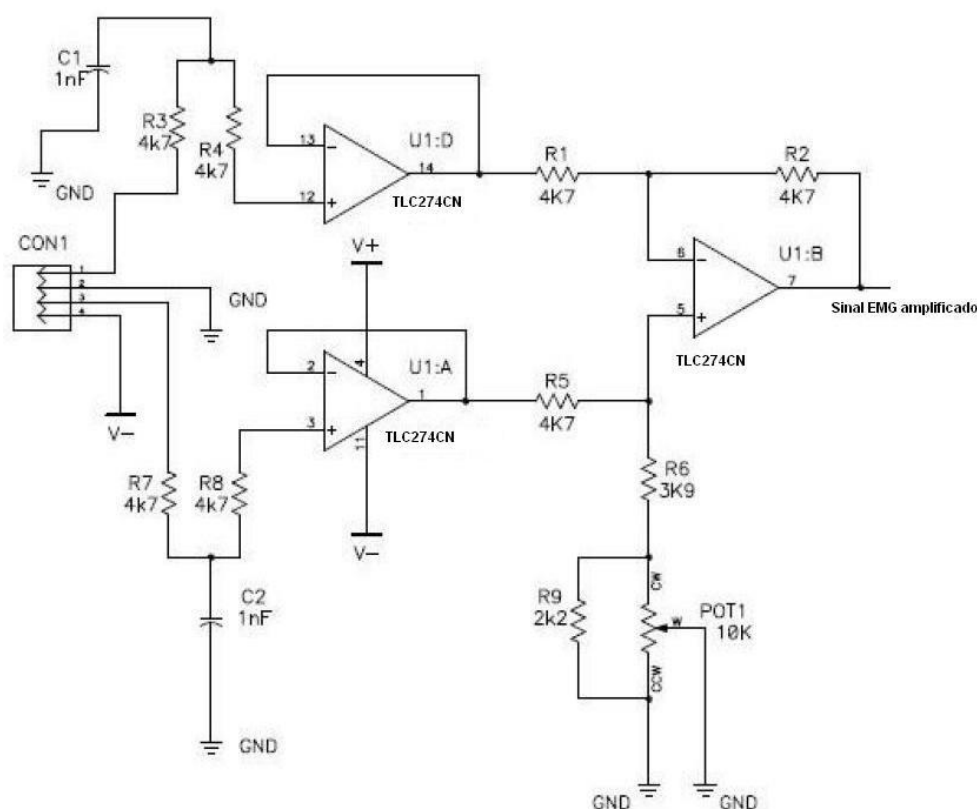


Fig. 2. Circuito condicionador

A figura 3 apresenta o projeto do amplificador de áudio, cuja função é amplificar o ruído da atividade muscular. O projeto desse módulo é utilizado um chip TDA7052B, onde as funções de amplificação são integradas. Os capacitores e resistores externos são indicados pelo fabricante para filtragem de ruídos externos [8], [9].

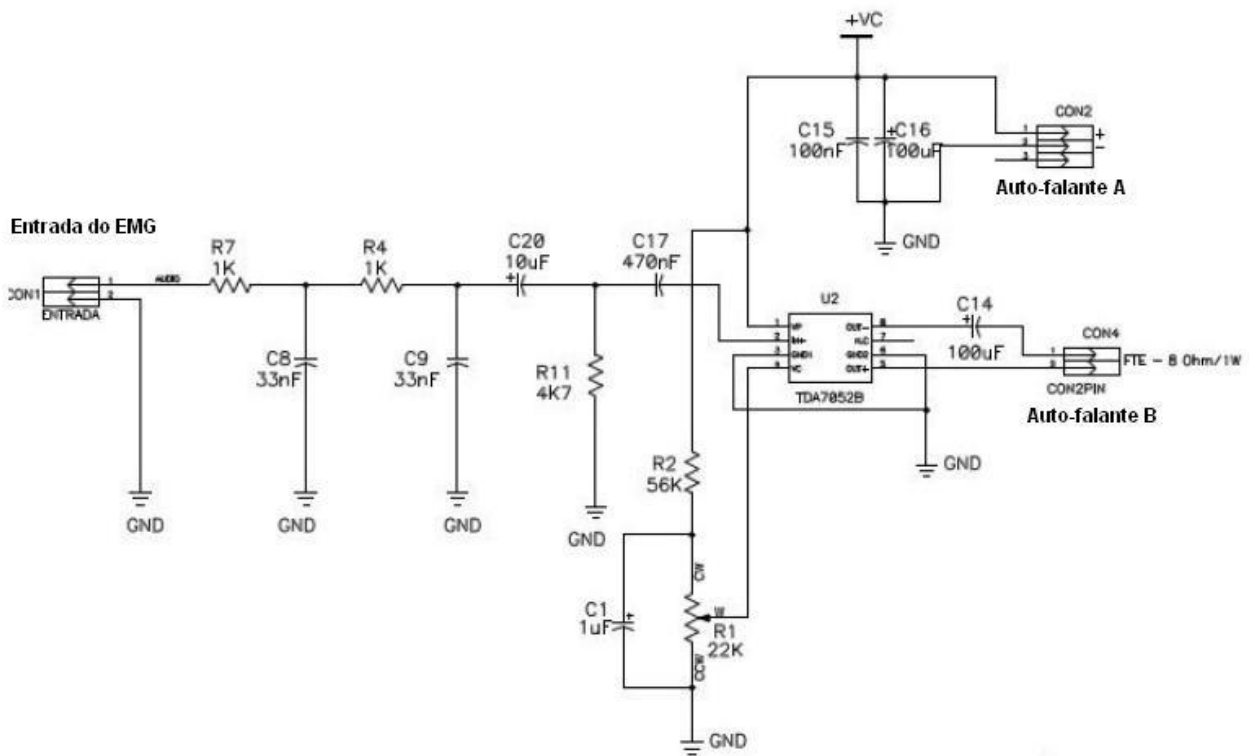


Fig. 3. Amplificador de áudio

3. Projeto do software analisador e games

O software analisador é desenvolvido em linguagem Java e apresenta a função de processador de sinais, que são enviados pelo circuito condicionador e capturados pelo software. Ele apresenta os resultados em uma tela de computador, com funções de medição de força, gravação dos sinais, reprodução, filtragem dos sinais e o processamento é feito via transformada de Wavelet. A figura 4 abaixo apresenta uma tela do software processando um determinado sinal EMG capturado pelo circuito condicionador em um membro superior.

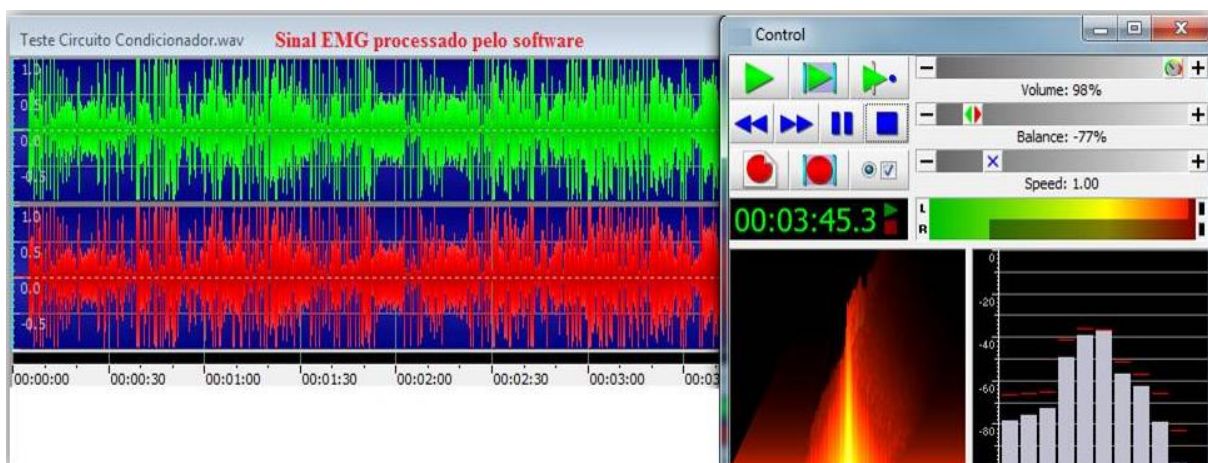


Fig. 4. Tela de um sinal EMG processado pelo software desenvolvido

O sinal EMG capturado e processado pelo software é enviado para o game, que conforme o movimento do paciente opera o game especificado pelo terapeuta.

Os games são desenvolvidos na plataforma Unity, utilizando o suporte nativo a captura de sinal de microfone para capturar o sinal mioelétrico amplificado. O sinal então é utilizado como controlador do jogo e o sinal EMG capturado pelo circuito condicionador é analisado pelo terapeuta. No primeiro game de corrida, o esforço do paciente é traduzido na velocidade do personagem, que no primeiro protótipo é representado por uma bola branca competindo com uma vermelha que é acelerada por uma força constante. A figura 5 apresenta a tela do jogo de corrida.

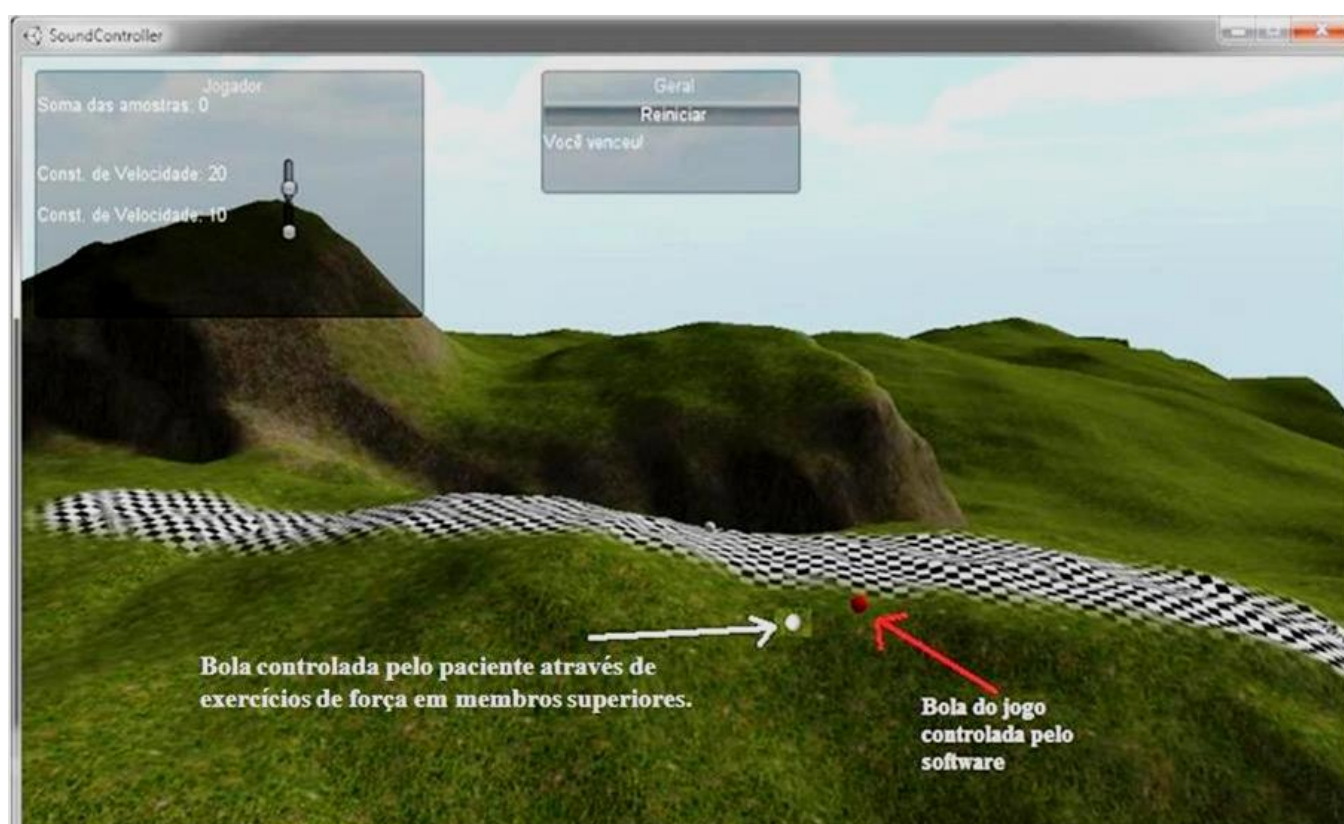


Fig. 5. Jogo de corrida para exercícios de força em membros em recuperação

A dificuldade do jogo é definida pela distância e relevo do terreno do cenário escolhido e por parâmetros configurados pelo terapeuta, como a sensibilidade da captura, limiar de ativação do controlador e velocidade do oponente. No segundo jogo, que simula uma cobrança de pênalti em um jogo de futebol, o esforço do paciente define a força do chute e deve ser concentrado em um tempo limitado. Os parâmetros controlados pelo terapeuta incluem a velocidade de movimento do goleiro, que no protótipo é representado por uma parede, o tempo disponível para o paciente encher a barra de força do chute, a quantidade

de cobranças de pênalti realizadas, a sensibilidade da captura e limiar de ativação do controlador.

5. Resultados

O protótipo apresenta resultados satisfatórios, no entanto, ainda encontra-se fase de ajustes finais e desenvolvimento. O sistema já é capaz de captar o sinal mioelétrico, processar via software, interagir com o game de corrida. Testes em membros superiores foram realizados e obtivemos boa resposta no quesito qualidade do sinal, processamento e interação com o game. O protótipo está sendo estudado no sentido da realização de sua blindagem, pois em alguns testes realizadas foi observado algumas interferências externas, que serão eliminadas. Houve também a necessidade de utilizar um cabo blindado para melhor captação do sinal mioelétrico. No tocante aos games já se encontra em desenvolvimento de um novo game que permitirá ao paciente efetuar exercícios de controle. A figura 6 apresenta o protótipo pronto e em teste em um membro superior (braço) e com sua interação com o game.

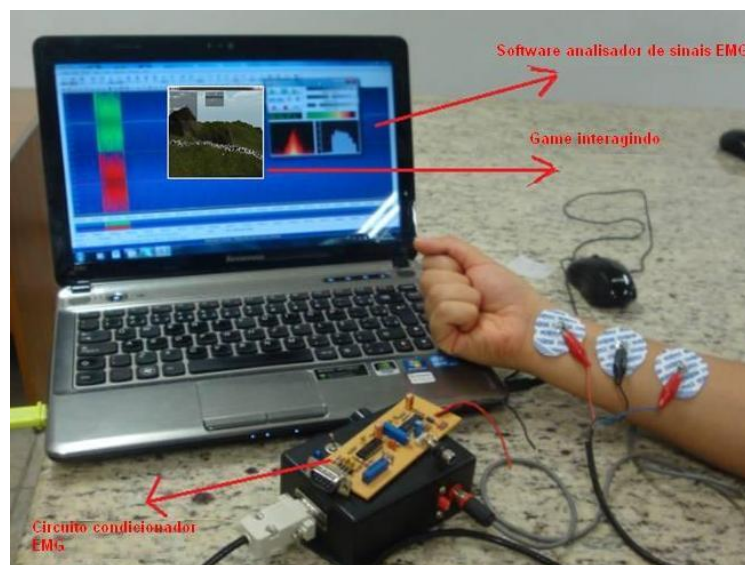


Fig. 6. Protótipo do sistema em teste de membro superior

6. Considerações Finais

Com a aquisição do sinal mioelétrico, que é amplificado, filtrado e processado pelo software, a resposta medida atende as expectativas esperadas e também permitiu boa interação com o game. O fisioterapeuta pode com o auxílio do protótipo, estudar e analisar o comportamento de uma musculatura qualquer em pacientes em reabilitação ou não. Por outro lado, o paciente obtém um feedback de sua recuperação através do game motivando sua reabilitação. A obtenção do sinal mioelétrico depende muito de cada paciente, pois alguns possuem sinais Eletromiográficos (EMG) mais forte que outros em seu organismo. No

entanto, o circuito condicionador projetado apresenta ganho ajustável, compensando as perdas que ocorrem de pessoa para pessoa.

Fontes Consultadas

- [1] N. A. Andrade, *Desenvolvimento de um sistema de aquisição e processamento de sinais eletromiográficos de superfície para a utilização no controle de próteses motoras ativas*, Brasília, 2007.
- [2] A. C. Amadio e R. C. Araujo, "Análise biomecânica da ativação das porções superficiais do músculo," *Revista Brasileira de Fisioterapia*, vol. I, pp. 13-20, 1996.
- [3] C. J. De Luca, "Delsys," 2002. [Online]. Available: http://www.delsys.com/Attachments_pdf/WP_SEMGintro.pdf. [Accessed 12 Abril 2013].
- [4] K. M. Kapp, *The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education*, Pfeiffer, 2012.
- [5] "Labcenter electronics - Proteus," Labcenter electronics, 2013. [Online]. Available: <http://www.labcenter.com/>. [Acesso em Abril 2013].
- [6] A. C. D. Ricciotti, *Utilização de wavelets no processamento de sinais EMG*, Uberlândia, 2006.
- [7] S. B. O'Sullivan e T. J. Schmitz, *Fisioterapia - Avaliação e Tratamento*, São Paulo: Manole, 2008.
- [8] "NXP Semiconductors," 15 Agosto 1997. [Online]. Available: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/TDA7052B.pdf. [Acesso em Novembro 2012].
- [9] A. P. Júnior, *Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos*, Bookman, 2003.